

**На правах рукописи**

**ПЕЧЁНКИНА Наталья Валериевна**

**«ОТРАЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ АРИДИЗАЦИИ  
ВОЛЖСКО-КАМСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ В ГУМУСНОМ СОСТОЯНИИ  
И ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ЧЕРНОЗЕМОВ»**

Специальность 03.00.16 – экология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Казань, 2009

Работа выполнена в Казанском государственном  
университете им. Ульянова- Ленина

Научный руководитель:

доктор биологически наук, профессор

**Г.Ф. Копосов**

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
член корреспондент РАСХН

**В.А. Рожков**

доктор биологических наук, профессор

**К.К. Захаров**

Ведущая организация: Казанский государственный аграрный университет

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.  
в \_\_\_ час. \_\_\_ мин. на заседании диссертационного совета ДМ 212.081.19 при  
Казанском государственном университете по адресу: 420008, г. Казань,  
ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского  
государственного университета по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат биологических наук \_\_\_\_\_

**Р.М. Зелеев**

**Актуальность темы.** Последний этап развития цивилизации – этап ускоренного научно-технического прогресса ознаменовался неудержимым ростом численности населения Земли. К настоящему времени пригодные для полей поверхности распаханы и интенсивно используются. Территория Республика Татарстан является наглядным отражением этого глобального процесса. За последние 100-150 лет лесистость ее снизилась с 42% до 17%. Леса целенаправленно уничтожались для расширения полей. Снижение лесистости в два и более раза изменило условия инсоляции и взаимодействия воздушных масс с поверхностью почв, что повлекло за собой формирование нового их температурного и влажностного режимов, создавших предрасположенность к увеличению непроизводительных потерь выпадающей атмосферной влаги. Усеченный круговорот органического вещества и искусственная активизация процессов естественного разрушения растительных остатков, свойственные аграрным моноценозам, изменили режим аккумуляции углерода почвами в направлении уменьшения общего ее объема и структуры.. Нарушение сложившихся природных форм связей почвенного органического вещества с минеральной основой почв и сильные механические воздействия со стороны сельскохозяйственных машин и механизмов блокируют процесс самовосстановления структурно-агрегатного состояния. Повышение уровня распыленности структуры и тесно сопряженное с ней снижение впитываемости и водопроницаемости почвенных толщ создают благоприятные предпосылки для поверхностного стока, что в виде обратной связи дополнительно отягощает антропогенно наведенный процесс непроизводительного расходования выпадающих атмосферных осадков. Стимулируемая аграрной деятельностью аридизация (иссушение) территории лесостепной зоны, где сельскохозяйственная освоенность почвенного покрова достигает 100%, приводит к негативному изменению режима рек, высыханию озер, изменению состава и общему обеднению видового разнообразия аридизированной деятельностью человека лесостепи.

Земли сельскохозяйственного назначения Республики Татарстан представлены более чем на 80% черноземами и серыми лесными почвами, участвующими в формировании пахотного земельного фонда практически в равной доле. В прошлом площади, занятые черноземами представляли собой луговые степи, серыми лесными – дубравами и другими типами лиственных лесов. Таким образом, изучение гумусного и общефизического состояния данных почв, их непрерывных изменений под естественным и антропогенным влиянием и определение тенденций этих изменений представляет собой актуальную экологическую проблему.

**Цель работы.** Выявление путем сопряженного сопоставления парного объекта направлений трансформации гумусного состояния и водно-физических свойств чернозема глинисто-иллювиального типичного в процессе длительного его использования в составе пахотного угодья.

#### **Задачи исследований.**

1. Провести анализ морфологических особенностей профилей черноземов, приуроченных к различным позициям элементарного геоморфологического

склона водораздельной поверхности, и находящихся в естественных условиях и в длительном сельскохозяйственном пользовании;

2. Выявить в составе профилей исследуемого подтипа чернозема распределение почвенного органического вещества по отдельным составляющим физической организации твердой фазы почвы;

3. Выявить изменения физического и водно-физического состояния исследуемого подтипа чернозема, связанные с различными условиями его формирования;

4. Определить взаимозависимости запасов почвенного органического вещества и общифизических параметров чернозема глинисто-иллювиального типичного, обуславливаемые их приуроченностью к различной зоне элементарного склона и типом использования;

5. Представить взаимозависимости количественных параметров органического вещества и физических, водно-физических показателей чернозема глинисто-иллювиального типичного в количественном виде.

**Научная новизна.** Сравнением установлено, что широко применяющийся в отечественной почвенно-лабораторной практике метод Н.А. Качинского с пирофосфатной подготовкой образцов к седиментации в сравнении с методом А. Аттерберга занижает относительное содержание наиболее высокодисперсных фракций за счет соответствующего увеличения крупнопылеватых и песчаных частиц, в результате чего классификационная разновидность может достигать двух градаций.

Изучено распределение органического вещества в черноземах глинисто-иллювиальных типичных (естественно развивающихся и длительно используемых под пашней) по отдельным составляющим физической организации твердой фазы почвы, рассчитаны его запасы по фракциям (свободным и непрочно связанным макроорганическим и органо-минеральным) и структурным отдельностям.

Установлены количественные изменения основных структурных уровней организации гумусового горизонта исследуемых черноземов под воздействием длительной аграрной культуры, обуславливаемые их положением в профиле элементарного геоморфологического ландшафта водораздельной поверхности.

Специальными опытами установлен уровень уплотнения почв, создаваемый различными типами сельскохозяйственных тяговых машин. Показано, как это уплотнение отражается на основных гидрологических характеристиках, управляющих поведением атмосферной влаги, поступающей на поверхность черноземов.

#### **Защищаемые положения.**

1. Непосредственными причинами деградации физического состояния черноземов лесостепи при вовлечении их в сельскохозяйственное производство являются негативная трансформация структурно-агрегатного состава, сопровождающаяся уменьшением общего количества аккумулируемого органического вещества и изменением его локализации в составе структурных отдельностей, перестраивающихся в условиях систематического аграрного прессинга.

2. Деградация структурно-агрегатного состава, суть которой состоит в полной потере устойчивости к действию воды всеми агрегатами  $>2$  мм, сопровождается существенным ослаблением механизма стабилизации почвенного органического вещества, который в виде обратной связи влияет на дальнейшее негативное преобразование исходного физического состояния черноземов.

3. Совместное негативное изменение почвенного органического вещества как биотической составляющей и структурно-агрегатного состава как модулированной им абиотической составляющей черноземов предопределяют снижение противозрозионной их стойкости и, в целом, устойчивости аграрных экосистем, базирующихся на них.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Представляемые результаты исследований дополняют и углубляют существующие представления об основополагающих свойствах черноземах и причинах их негативного изменения в результате длительного сельскохозяйственного использования, основанного на применении вспашки с оборотом пласта.

Материалы данной работы могут быть использованы для разработки теории, методологии и технологии управления воспроизводством плодородия почв; для расчетов экологически безопасного уровня антропогенного воздействия; использоваться при организации и проведении экологического мониторинга естественных и активно эксплуатируемых человеком экосистем базирующихся на черноземах, как информационной основы рационального землепользования и охраны почв от деградации.

**Апробация работы.** Материалы диссертации представлялись на Докучаевских молодежных чтениях 2006 г. «Почвы и техногенез» в Санкт-Петербургском государственном университете (Санкт-Петербург, 2006); на Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства» (Йошкар-Ола, 2007); на Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие агропромышленного комплекса и лесного хозяйства» (Казань, 2007); на Международной научно-практической конференции «Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования» (Астрахань, 2007).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 3 статьи в реферируемых журналах.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 10 глав, выводов, приложения и списка литературы, включающего 334 наименований, в том числе 233 на иностранных языках. Работа изложена на 146 страницах, включая 8 таблиц, 20 рисунков и 24 приложения.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность руководителю этой работы д.б.н., профессору Геннадию Федоровичу Копосову за науку и терпение. Особую признательность автор испытывает к к.т.н. А.Г. Закирову, профессору И. Кёгель-Кнабнер (Технический университет г. Мюнхен) и генеральному директору ООО «АФ «Кулон» Р.В. Мифтахову, оказавшим неоценимую помощь при выполнении

работы. Автор благодарен всем сотрудникам кафедры почвоведения Казанского государственного университета, принимавшим участие в различных этапах данного исследования.

## 1. Обзор литературы

Дается общее современное представление о почве, как элементе глобального круговорота и о почвенном органическом веществе, физические и химические свойства которого являются непрерывными сильно варьирующими переменными (*Amundson, 2001*). Показывается, что содержание почвенного органического углерода может быть характеризовано тремя концептуальными пулами углерода, отличающимися временем существования: 1) активным; 2) медленным,  $10^1 - 10^2$  лет; 3) пассивным  $\geq 10^3 - 10^4$  лет (*Falloon u Smith, 2000*). Описаны три главных механизма стабилизации органического вещества в почве, действующих совместно: 1) химическая стабилизация – химическое или физико-химическое связывание органического вещества глинистыми минералами почвы (*Feller u Beare, 1997; Hassink, 1997; Ladd u др., 1985, 1992; Merckx u др., 1985; Sorensen, 1972; Torn u др., 1997*); 2) биохимическая – устойчивость организации почвенного органического вещества из-за его собственного химического состава и химических процессов полимеризации, протекающих в самой почве (*Christensen, 1996; Stevenson, 1994*); и 3) физическая защита, принадлежащая агрегатам, которые, формируя физические барьеры для микроорганизмов и их ферментов, управляют их пищевой сетью (*Elliott u Coleman, 1988, Edwards u Bremner, 1967; Elliott, 1986; Jastrow, 1996; Tisdall u Oades, 1982; Six u др., 2000a u др.*).

Излагается в соответствии с Oades (1984), что фрагменты корней и гифов (агентов временных связей), покрытые растительными слизями, произведенными во время разложения, покрываются глинами и становятся ядрами формирования микроагрегатов в пределах макроагрегатов. Elliott и Coleman (1988) привязали микроагрегирование к анаэробному процессу и описали четыре иерархических уровня порового пространства: 1) макропоры; 2) поры, делающие интервалы между макроагрегатами; 3) поры между микроагрегатами, но в пределах макроагрегатов; и 4) поры в пределах микроагрегатов. Эта иерархическая структура порового пространства облегчает понимание того, как система пор внутри почвы определяет связи между организмами в системе, именуемой «почва». Следовательно, органическое вещество, изолированное пространственно, защищено от разложения из-за: 1) уменьшенного доступа для микроорганизмов и их ферментов; 2) ухудшения условий проникновения ферментов во внутриагрегатное пространство; и 3) ослабления аэробного разложения из-за ухудшения доступа кислорода.

Вновь поступившие в почву мертвые органические остатки и первичные продукты их разложения, еще близко не связанные с глинистыми минералами почвы, составляют незащищенное объединение почвенного органического вещества (ПОМ – Particulate organic matter) (*Baldock u Skjemstad, 2000*). Эта фракция играет существенную роль в круговороте углерода в почвах, поскольку большая часть ее служит легко разлагаемым субстратом для

микроорганизмов и краткосрочным резервуаром питательных элементов для растений. Аккумуляция свободного и непрочно связанного органического вещества максимальна в поверхностных горизонтах почв, вниз по профилю его масса, в зависимости от типа почв, резко или постепенно убывает. Данная фракция также подвержена сезонным колебаниям (Ванюшина, 2001; Травникова и др. 1992; Christensen, 1992).

Обсуждаются также вопросы о существовании пределов насыщения почв органическим веществом. Рассматриваются потери органического вещества из почвы биотическим путем, из-за нарушения механизмов его стабилизации в почве и с эрозионным стоком. Обсуждается вопрос о физической деградации почв, которая, в свою очередь, затрудняет или препятствует им выполнять функции, заданные природой. Рассматриваются особенности динамики органического вещества в пахотных почвах в зависимости от типа их использования; пути оптимизации содержания органического вещества в почве.

## **2. Методология и методика исследования**

**Методологический подход.** В работе использовались сравнительно-географический и профильные методы исследования. Сравнительное сопоставление показателей исследуемых черноземов осуществлялось путем сравнения черноземов, находящихся в активной аграрной культуре с их аналогом, развивающимся в естественных условиях. Другим методическим подходом явилось сравнительное исследование физического и водно-физического состояния пахотного горизонта до и после воздействия на него давления, оказываемого колесной парой задней оси движителей различного типа.

**Методика исследования.** Общепринятыми методами проводилось исследование по определению структурно-агрегатного состава почвы, плотности ее сложения, плотности ее твердой фазы, твердости, влагоемкости, впитываемости, содержания гумуса. Расчетным методом определялись пористость и почвенные гидрологические параметры (Качинский, 1970; *Агрофизические методы исследования почв*, 1996). Гранулометрический состав чернозема определялся согласно двум методикам: общепринятой в России (Качинский, 1964) и принятой за рубежом по А. Аттербергу. В качестве подготовительных этапов для определения ГМС по А. Аттербергу использовалось в первом варианте окисление органического вещества пергидролем, во втором – проводилось отделение свободного и непрочно связанного органического вещества по плотности и ультразвуком (Christens, 1992). Содержание углерода и азота во всех выделенных фракциях после физического фракционирования почвенного материала, а так же в исходных образцах почв из каждого горизонта всех исследуемых черноземов осуществлялось на приборе *Elementaranalysator vario EL*. Определение основных почвенных показателей осуществлялось в 4-10 повторностях в зависимости от точности анализа.

**Статистическая обработка результатов** проводилась с использованием пакетов программ Excel 2000 и StatGraphics Plus 5.1. Для всех полученных

совокупностей данных вычислялись основные статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение), а также проверялось их соответствие закону нормального распределения (уровень достоверности 90% и более). Для сравнения выборок использовались интервальные оценки. Для определения взаимосвязи различных показателей использовались методы множественного регрессионного анализа. Там, где представлялось возможным, использовался многофакторный дисперсионный анализ.

### 3. Объекты исследования

Исследования проводились в Западном Закамье в пределах Закамско-Чистопольского равнинного района Закамско-заволжских луговых степей и широколиственных (липово-дубовых и дубовых) остепненно-травяных лесов (*Сосудистые растения Татарстана, 2000*). Непосредственным объектом диссертационного исследования служил элементарный геоморфологический склон (около 2°) южной экспозиции водораздела р.р. Шешма – Б. Черемшан, общая длина которого составляла около 300 м. В пределах нижней части склона, примыкающей к балке, сохранился фрагмент естественной зональной луговой степи. Весь профиль склона находился в почвенном контуре, представленном самым распространенным представителем черноземов в Республике Татарстан черноземом выщелоченным среднемогучным среднегумусным (*Классификация и диагностика почв СССР, 1977*) или черноземом и агрочерноземом глинисто-иллювиальным типичным тучным или сильно гумусированным (*Классификация и диагностика почв России, 2004*).

В пределах этого склона на отрезке прямой длины 300-320 м, центральная часть которого лежит на 51°12'-51°13' в.д. и 54°59'-55°01'с.ш, были заложены четыре пробные площади размером 20х40 м, на которых осуществлялся весь комплекс полевых исследований. В состав полевых работ на каждой пробной площади входило: 1) обследование почвенного покрова с заложением четырех опорных полнопрофильных разрезов с отбором образцов послойно в верхней 30-сантиметровой толще и погоризонтно в нижележащей толще и шести полуям для определения варьирования морфометрических показателей строения профиля; 2) определение показателей плотности сложения в 8-ми повторностях для каждых 10-ти см профиля; 3) определение твердости с помощью твердомера в 10-ти повторностях погоризонтно; 4) определение впитываемости методом трубок с переменным напором воды в верхних 30-ти см профиля через каждые 10-ть см в 8-ми повторностях, затем – погоризонтно в 5-ти повторностях; 5) определение наименьшей (полевой) влагоемкости; 6) проведение экспериментов по выявлению уплотняющего воздействия ходовых систем трех типов тяговых машин (тракторов).

Опорные разрезы представляются ниже.

**Разрез 1** – водораздельная часть склона. Схема профиля: PU–AU–BI–BM<sub>ca</sub>–BC<sub>ca</sub>. Почва: агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный насыщенный средне выщелоченный среднемогучный тучный на остаточных и частично перемещенных продуктах выветривания пермских карбонатных плотных пород. **Разрез 2** – средняя части склона. Схема профиля:



PU-AU-BI-BM1-BM2<sub>ca</sub>-BC<sub>ca</sub>-C<sub>ca</sub>. Почва: агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный насыщенный сильно выщелоченный среднемощный сильно гумусированный на перемещенных продуктах выветривания пермских карбонатных плотных пород, подстилаемых древнеаллювиальными песками.

**Разрез 3** – нижняя часть склона, выложенный его элемент. Схема профиля: PU-AU-BI-BM1-BM2<sub>ca</sub>-BM3<sub>ca</sub>-C<sub>ca</sub>. Почва: агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный насыщенный сильно выщелоченный среднемощный сильно гумусированный на перемещенных продуктах выветривания пермских карбонатных плотных пород. **Разрез 4** – основание склона. Водораздельная поверхность подрезается отрогом долины безымянной речки (приток четвертого уровня р. Шешмы). Естественная луговая степь неудобца, распашка которой никогда не проводилась. Преобладает луговая растительность с доминированием мятлика узколистного (*Poa angustifolia*) и типчака (*Festuca valesiaca*). Схема профиля: Ao-AU-BI-BM1<sub>ca</sub>-BM2<sub>ca</sub>-BM3<sub>ca</sub>-C<sub>ca</sub>. Почва: чернозем глинисто-иллювиальный типичный насыщенный сильно выщелоченный среднемощный тучный на перемещенных продуктах выветривания пермских карбонатных плотных пород.

На исследуемой агротерритории действует 5-ти польный севооборот: озимая пшеница – яровая пшеница – ячмень с подсевом многолетних трав – клевер 1-го года – клевер 2-го года с последующей его запашкой. Исследования проводились в течение двух лет в вегетацию яровой пшеницы и ячменя.

#### **4. Почвенное органическое вещество и его роль в формировании структурной организации черноземов**

**Морфологические особенности исследуемых черноземов.** Анализ морфологического описания почвенных толщ не выявил каких-либо отступлений от общих закономерностей строения профиля.

Согласно экспериментальным данным (табл. 1), исследованные черноземы принадлежат к виду среднемощных (~60 см.), по содержанию гумуса относятся к тучным (содержание гумуса более 8%) и сильно гумусированным (5-8%).

**Содержание, распределение и запасы органического углерода, азота и гумуса между почвенными горизонтами.** Так как гумусовый горизонт исследуемого подтипа чернозема лишен карбонатов, то весь определяемый углерод можно принять за органический. Величины содержания углерода, определенные прямым методом на приборе *Elementaranalysator vario EL* и косвенным методом И.В.Тюрина, существенно различаются по всем исследованным почвенным толщам, что характеризует метод И.В. Тюрина как недостаточный для полного окисления прочносвязанного с тонкой минеральной частью почвы органического вещества и органического вещества более стойкого по своей природе.

Для верхней части гумусового горизонта обнаруживаются статистически значимые различия (с вероятностью не менее 95%) в количественном содержании почвенного органического вещества между толщами в средней и

нижней частях склона (I группа) и на приводоразделе и в основании склона (II группа). Это явление объясняется эродированностью склоновых (I группа) представителей.

Таблица 1

Содержание гумуса, органического углерода и азота  
в исследуемых черноземах, %\*

№ пробной площади	Горизонт, глубина, см	Содержание гумуса*	Структурные отдельности					
			<2 мм			>2 мм		
			N, %	C, %	C/N	N, %	C, %	C/N
1	PU, 0-10	8,7±0,4	0,44	5,36	12,11	0,47	5,69	12,2
	PU, 11-20	8,5±0,2	0,45	5,43	12,19	0,46	5,61	12,25
	PU, 21-28	7,8±0,5	-	-	-	-	-	-
	AU, 29-46	4,6±0,6	0,25	3,25	12,91	0,24	2,93	12,46
	BI, 47-58	2,0±0,5	0,14	1,63	11,95	0,1	1,17	12,03
2	PU, 0-10	7,0±0,3	0,29	4	13,85	0,3	3,96	13,39
	PU, 11-20	6,5±0,6	0,3	4,1	13,85	0,3	4,05	13,74
	PU, 21-25	6,2±0,6	-	-	-	-	-	-
	AU, 26-32	5,7±0,7	0,28	3,81	13,75	0,26	3,54	13,41
	BI, 33-63	2,6±0,5	0,11	1,52	13,95	0,11	1,55	13,74
3	PU, 0-10	6,2±0,2	0,3	3,8	12,72	0,3	3,83	12,59
	PU, 11-20	5,7±0,5	0,28	3,6	12,77	0,29	3,68	12,77
	PU, 21-25	5,7±0,8	-	-	-	-	-	-
	AU, 26-41	4,8±0,7	0,25	3,27	13,14	0,23	3,1	13,39
	BI, 42-62	3,0±0,6	0,17	2,12	12,77	0,15	1,93	13,12
4	AU, 4-14	8,5±0,8	0,43	5,35	12,54	0,39	5,17	13,19
	AU, 15-24	8,4±0,7	0,35	4,72	13,42	0,31	4,13	13,33
	AU, 25-49	6,9±0,4						
	BI, 50-62	3,7±0,5	0,14	1,78	12,92	0,14	1,58	11,58

\* Органический углерод и азот определены с помощью прибора

Согласно полученным результатам (табл. 1), отмечается закономерное снижение показателя органического углерода, азота и гумуса с глубиной. Содержание азота уменьшается более плавно чем углерода. Наименьшие значения запасов органического вещества (табл. 2) в пахотном горизонте характерны толще, формирующейся в нижней части склона, что ясно свидетельствует здесь о более высокой скорости процесса дегумификации. При анализе нетронутых человеческой деятельностью почвенных горизонтов толща средней части склона чаще отстаёт в общих запасах, что указывает на глобальное действие эрозионного процесса, которое затрагивает не только верхнюю часть данной толщи, но и косвенно отражается на его подповерхностных слоях. Верхняя толща на приводоразделе более насыщена органическим веществом, даже по сравнению с аналогичной в естественной толще (на 2,3%), несмотря на интенсивность использования. По отношению к естественному ценозу, агроценозы характеризуются как очень динамичная биокосная часть экосистемы.

Относительно низкое содержание органического вещества в толщах, характеризующих склоновые представители (I группа), могло бы быть из-за

различий в содержании процессов преобразования, затрагивающих экосистемы,

Таблица 2

Запасы гумуса, органического углерода и азота по сумме горизонтов, *т/га*

№ пробной площади	Почвенная толща, (см)	Запас гумуса	Структурные отдельности			
			< 2 мм		> 2 мм	
			запас N	запас C	запас N	запас C
1	Ап	244,34	12,97	157,76	13,46	164,64
	Ап+А1	340,53	18,24	225,66	18,38	225,84
	А1+АВ	126,99	7,38	93,01	6,41	79,18
	Ап+А1+АВ	371,33	20,35	250,77	19,87	243,81
2	Ап	198,53	8,80	121,90	8,86	120,51
	Ап+А1	244,36	11,03	152,52	10,98	148,98
	А1+АВ	154,25	6,77	94,04	6,83	92,93
	Ап+А1+АВ	352,78	15,57	215,94	15,70	213,44
3	Ап	182,89	8,96	114,13	9,15	116,08
	Ап+А1	272,89	13,63	175,35	13,50	174,18
	А1+АВ	171,60	9,18	118,86	8,35	110,58
	Ап+А1+АВ	354,49	18,14	232,99	17,50	226,65
4	А1 (4-24)	182,90	-	-	-	-
	А1 (15-49)	281,45	14,00	187,68	12,33	164,13
	А1 (4-49)	376,65	18,78	247,60	16,72	222,03
	А1+АВ	434,37	20,94	275,31	18,84	246,60

т.е.: 1) в изначальных методах преобразования данной территории, прежде всего обработки почвы, которая большей частью была разрушительной для последней, что вызвало серьезный твердый сток (удаление поверхностного слоя). При этом различия в интенсивности эрозии почвы поспособствовали существенным различиям в содержании почвенного органического вещества всех четырех профилей; 2) вследствие меньшей физической защиты органического вещества в культивированных (чем в некультивируемых) почвах из-за удаления больших количеств биомассы между периодами вегетации, прерывания постоянных поступлений органической массы в почву, сокращения количества и качества органических входов в почву, более быстрых темпов разложения почвенного органического вещества и норм минерализации; 3) из-за различий в эффективности химической защиты органического углерода и азота первичными почвенными частицами, которые первые теряются с эрозионными стоками; 4) в результате неодинаковости чисто механических воздействий на поверхность почв.

## 5. Распределение и запас органического вещества в структурных конструкциях почвообразующего материала

В наибольшей степени содержание почвенного органического вещества коррелирует с гранулометрическим составом почвы, а совокупность свойств, определяемая этими двумя показателями, обуславливает основные физические параметры почвы. Процентная доля гранулометрических частиц в

составе почвы косвенно характеризует потенциалы возможности хранения органического вещества, а органическое вещество, в свою очередь, вызывая процессы агрегирования, защищает наиболее ценную тонкую гранулометрическую фракцию почвы от ее потерь с твердым стоком.

Гранулометрический состав почвы определялся согласно двум методикам с помощью различных подготовительных этапов (табл. 3). Несмотря на это, индивидуальные особенности распределения и присутствия тех или иных фракций в исследуемых толщах сохраняются: а) повышенное содержание глинистой фракции в толщах II группы по сравнению со склоновыми разрезами (I группа); б) в горизонтах II группы преобладает пылеватая фракция, в особенности крупная и средняя ее компонента; в) в склоновых толщах (I группа) сохраняется большое количество мелкого песка, и также в толще, формирующейся в средней части склона, к переходному горизонту VI идет увеличение содержания фракции крупного песка.

Таблица 3

### Гранулометрический состав почв

№ пробной площади	Горизонт	По Н.А. Качинскому	По А. Аттербергу	
			Подготовительный этап	
			Разделение по плотности, ультразвуком	С обработкой H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
1	PU	средний суглинок	пылевато-глинистый суглинок	пылеватая глина
	AU	тяжелый суглинок		
		BI	средний суглинок	пылеватый суглинок
2	PU	средний суглинок	суглинок	глина
	AU			глинистый суглинок
	BI			
3	PU	средний суглинок	суглинок	глинистый суглинок
	AU	тяжелый суглинок		
		BI	средний суглинок	
4	AU	средний суглинок	пылевато-глинистый суглинок	пылеватая глина

По результатам определения ГМС по Качинскому и Аттербергу с предварительным разделением почвенного материала по плотности и ультразвуком, преобладающей фракцией для всех горизонтов (рис. 1), за исключением богатой на песок толщи нижней части склона, является фракция пыли, большей частью крупная (до 26,62% от массы почвы) и средняя (до 26,51%). Присутствие повышенного количества пыли обуславливает слабую водопроницаемость, и, при излишней минерализации органического вещества, слабую оструктуренность, легкую распыляемость и склонность к заплыванию и уплотнению. После обработки почвенных проб пергидролем доминирующая доля в гранулометрическом составе почвы для всех горизонтов принадлежит глинистой фракции (содержание которой иногда превышает 50% от массы навески), которая, агрегируясь, обеспечивает потенциальное плодородие исследованной почвы, при этом вне зависимости от места расположения на склоне и типа использования земли.

Дополнительно к запасам органического вещества, защищенного химически, физически и биохимически, в почве содержатся более

легкодоступные запасы в виде свободных и непрочно связанных органических частиц, доля которых контролируется только спецификой их собственного химического состава. Согласно результатам физического фракционирования (рис. 1), наибольшее количество свободного и непрочно связанного органического вещества обнаружено в верхних толщах всех черноземов (5-9% от массы навески). Убывание данной фракции вниз по профилю и выравнивание величин показателя между исследуемыми толщами отмечается на глубине горизонта ВІ (0,91-1,79% от массы навески). Постоянный приток органического вещества и естественная скорость его минерализации объясняет высокие значения данной фракции в гумусовом горизонте естественного чернозема. Благоприятные условия для разложения, такие как хорошая аэрация толщи, нейтральность среды, остатки растений с более быстрыми сроками разложения, достаточное количество азота в почве для жизнедеятельности основных микроорганизмов-минерализаторов и т.д. складываются, как правило, на пашне, что существенно уменьшает здесь общее количество фракции

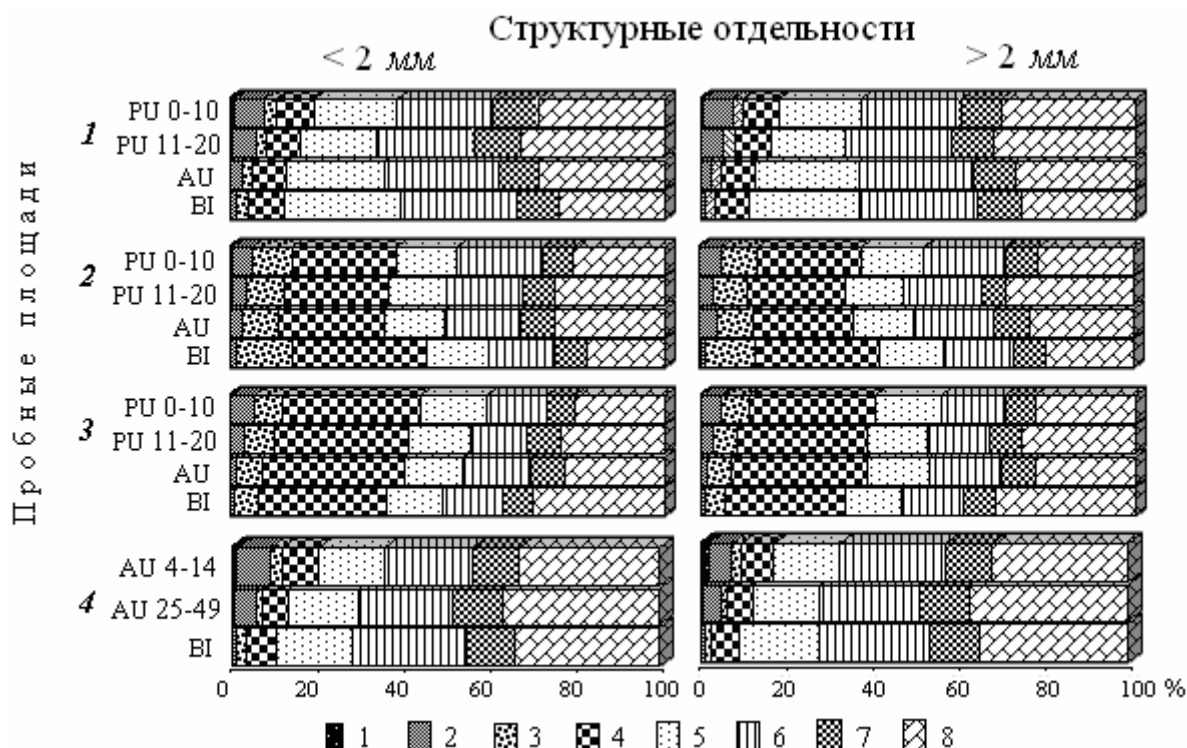


Рис. 1 Результаты физического фракционирования почв с предварительным разделением почвенного материала по плотности и ультразвуком для удаления из него свободного и непрочно связанного органического вещества, где 1 - частица органического вещества, находящаяся на внешней поверхности микроагрегатов и отделяющаяся по плотности; 2 - частица органического вещества, входящая в состав устойчивых агрегатов, однако после минимум пятиминутной обработки ультразвуком отделяется тяжелой жидкостью; 3 - крупный и средний песок,  $>200 \mu\text{m}$ ; 4 - мелкий песок,  $63-200 \mu\text{m}$ ; 5 - крупная пыль,  $20-63 \mu\text{m}$ ; 6 - средняя пыль,  $6,3-20 \mu\text{m}$ ; 7 - мелкая пыль,  $2-6,3 \mu\text{m}$ ; 8 - глина,  $<2 \mu\text{m}$ .

свободного и непрочно связанного органического вещества по сравнению с естественной толщей. При учете севооборота, которому подчинено

исследованное поле, свежее органическое вещество будет поступать следующим образом: 2 года подземная и надземная измельченная масса яровой культуры – 2 года естественный опад – 1 год богатая азотом органическая масса и т.д.

Общим для всех черноземов является то, что в верхнем почвенном слое до 78% органического азота и до 85% органического углерода от общего их процентного содержания в почвенной пробе сосредоточено в свободном и непрочно связанном органическом веществе и до 12% азота и до 9% углерода – во фракции глины. Обогащенность каждой фракции органическим углеродом характеризуется существенными различиями для одноименных элементарных почвенных частиц в одноименных почвенных горизонтах, что свидетельствует о качественных и темповых различиях в процессах формирования органо-минеральных комплексов на различных участках склона.

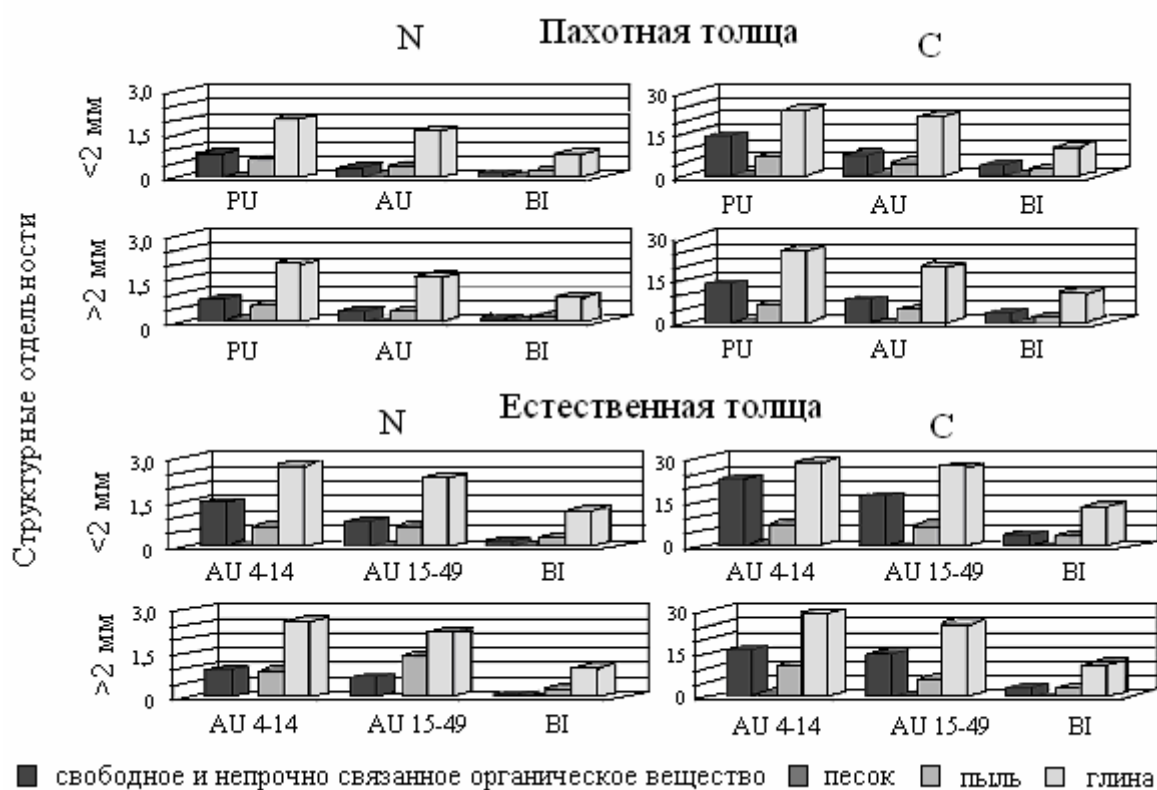


Рис. 2. Запас углерода и азота в почвенных фракциях, г/кг почвы

Запасы органического углерода и азота во фракции свободного и непрочно связанного органического вещества, несмотря на большое количество в них доли этих элементов, оказываются не столь значительны (рис. 2), однако все же остаются одними из самых больших. В первую очередь они существенны в наружных толщах черноземов, что соответствует здесь наибольшим общим запасам органического вещества. Также отмечается (рис. 2), что в исследованном подтипе чернозема на распределение и аккумуляцию органического вещества в первую очередь влияет количество и состояние фракций тонкой пыли и глины (ила), и при интенсификации сельскохозяйственного использования именно эти две фракции подвержены количественным и качественным изменениям, таким как накопление их как

агрегированного материала или уменьшение доли их прочносвязанного состояния, а также, в результате чего, переход органического вещества из закрепленного состояния в более активные формы.

Свободные и непрочно связанные частицы органического вещества характеризуются широким отношением C/N, указывающим на степень минерализации органического вещества. Известно, что изначальное содержание азота в почве является важным для начального микробного роста и последующего активного разложения этой части органического вещества. Таким образом, свободные и непрочно связанные частицы органического вещества являются хорошими индикаторами неустойчивости органического материала, существенным показателем минерализации и оборота азота. Отношение C/N для крупных органо-минеральных фракций (песок, крупная и средняя пыль) характеризуется как наименьшее, к глине оно нарастает. Таким образом, крупные органо-минеральные фракции характеризуются, в первую очередь, аккумуляцией органического вещества, находящегося уже в высокой степени минерализации и в форме легко доступного субстрата для почвенной биоты.

#### **6. Взаимозависимость органического вещества и структурно-агрегатного состояния почв**

Как было отмечено, органическое вещество принимает активное участие в формировании почвенных агрегатов. В тоже время и сам процесс агрегатирования, определяющийся в первую очередь содержанием в минеральной основе почвы высокодисперсных элементных частиц, управляет трансформацией органического вещества.

**Структурный состав почвы и органическое вещество.** В толщах, формирующихся на приводоразделе и в естественных условиях, отмечается преобладание фракций 1-10 мм (до 93,11% и до 93,57% соответственно) и 3-5 мм (до 37,19% и 38,15%), что выгодно отличает их в отношении высокой физической защиты органического вещества, потенциала его накопления и, в целом, защиты против эрозии от склоновых толщ (I группа). Как результат повышенной минерализации органического вещества, эрозионные склоновые толщи (I группа) характеризуются высокими значениями фракции <0,25 мм (до 9,99%) и еще большими значениями глыбистой фракции (48,66%). Следовательно, пахотная толща агрочерноземов характеризуется склонностью к образованию глыбистых структурных отдельностей, которые по своей природе обладают общей низкой водопрочностью или устойчивостью почвы к водной эрозии.

Также, в большинстве случаев отмечается обогащение органическим веществом структурных отдельностей <2 мм, нежели отдельностей >2 мм (табл. 1, 2), за исключением верхних горизонтов на приводоразделе и внизу склона. Обогащение структурных отдельностей >2 мм пахотного слоя толщи, развивающейся в верхней части склона, согласуется с повышенным здесь общим содержанием почвенного органического вещества, в том числе свежего (свободного и непрочно связанного), процессы минерализации которых

активизируют процессы агрегирования. В пахотном слое толщи, формирующейся в нижней части склона, обогащение органическим веществом отдельностей  $>2$  мм вероятно связано с повышенной скоростью минерализации, что приводит органическое вещество к лабильности, которая активизирует процессы агрегирования. Однако образованные таким образом макроагрегаты и физически защищенное в них органическое вещество будут отличаться большой неустойчивостью.

С глубиной связь структурного состава почв с органическим веществом ослабевает на фоне нарастания связи с минеральной компонентой почвы (коэффициент корреляции  $r = 0,74$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ). Отмеченная взаимозависимость между содержанием агрономически ценных структурных отдельностей и органическим веществом в верхней 20-ти сантиметровой толще исследуемых черноземов подтверждается с  $\alpha = 0,05$  и количественно выражается следующим регрессионным одномерным линейным уравнением:

$$A_{0,25-10} = 2,4 C_{10\text{см}} - 53,1 \quad R=60,4\pm 12,7 \quad (1)$$

где  $A_{0,25-10}$  - сумма агрономически ценных фракций по результатам сухого просеивания, %;  $C_{10\text{см}}$  - запас органического углерода, пересчитанный на 10-ти сантиметровую толщу для каждого горизонта,  $\text{м/га}$ ;  $R$  - доля в изменчивости показателя содержания агрономически ценных фракций, обусловленная запасом в почве органического вещества, %.

Согласно уравнению (1), до 60,4% изменчивости содержания агрономически ценной фракции статистически устойчиво связано с запасом органического углерода (органического вещества) при постоянстве всех других показателей.

**Агрегатное состояние почвы и органическое вещество.** При мокром просеивании все агрегаты крупнее 5 мм распадаются во всех исследуемых почвах. Для всех пахотных горизонтов характерно разукрупнение агрегатов  $>1$  мм, что отличает их от естественного аналога. При этом содержание агрегатов  $>0,25$  мм в верхней толще естественного чернозема превышает таковое у пахотных в 1,8-2,9 раза.

Для верхнего 20-ти сантиметрового слоя всех толщ вне зависимости от типа использования и местоположения на склоне отмечена очень высокая корреляция между агрегатной стабильностью почвы и органическим материалом ( $r = 0,81$ ), что связывает решение проблемы устойчивости почвы к физической деградации для заявленной толщи с высоким уровнем содержания здесь органического вещества, что особенно актуально для пахотных толщ. Также выявленная зависимость отвечает роли органического вещества как главного «клеящего вещества» (Oades, 1984; Tisdall и Oades, 1982) первичных минеральных частиц между собой в составе агрегата. Так как определяющими устойчивости структуры являются гуминовые кислоты гидрофобной природы, по содержанию водопрочных агрегатов дается примерная качественная и количественная оценка процесса преобразования амфифильной почвенной компоненты и специфической направленности деятельности почвенных микроорганизмов.



Для гумусовых горизонтов исследуемых черноземов анализ корреляции также обозначил наличие сильных взаимозависимостей между устойчивостью структуры и глыбистостью ( $r = -0,75$ ) и содержанием агрономически ценных фракций 0,25-10 мм ( $r = 0,82$ ). Последнее подтверждается с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$  следующим регрессионным многомерным линейным уравнением:

$$B_{>0,25} = 0,1 C_{10\text{см}} + 0,8 \Phi_{\text{глина}} + 0,5 A_{0,25-10} - 1,7 \quad R = 75,4 \pm 7,8 \quad (2)$$

где  $B_{>0,25}$  – сумма водопрочных агрегатов, %;  $C_{10\text{см}}$  и  $A_{0,25-10}$  см. уравнение (1);  $\Phi_{\text{глина}}$  – содержание фракции глины в почве (по А. Аттербергу), %;  $R$  – доля изменчивости показателя содержания водопрочных агрегатов, обусловленная запасом органического вещества, содержанием фракции глины и агрономически ценных фракций, %.

В целом, ухудшение устойчивости структуры в результате длительности и интенсивности использования исследованных агрочерноземов вызвано следующими причинами: 1) в крупных структурных отдельностях хорошо осуществляется газообмен, что исключает в большинстве случаев условия для анаэробного образования гидрофобных гумусовых кислот, как основного фактора устойчивости; 2) склонность почвы к заглыблению или распылению сводит физический фактор защиты органического вещества к минимуму, определяя высокую степень его минерализации; 3) крупные структурные отдельности определяют повышенные скорости динамичного течения воды в поровом пространстве и, как следствие, его деформацию и последующее разрушение самого агрегата; 4) корневые системы растений после их отмирания и последующей микробной минерализации образуют в почве совокупность крупных пор, которые могут способствовать некоторой релаксации напряжений, возникающих в агрегатах после их набухания; 5) обработка почвы разрушает эту сеть, создавая при этом новую, которая быстро теряет устойчивость в результате самоуплотнения почвенной массы; 6) удаление структурообразующего катиона кальция гравитационным стоком воды способствует некоторому снижению потенциала повышения устойчивости структуры к действию воды и, как следствие, снижению потенциала к структурообразованию и насыщению почвы органическим веществом.

## **7. Взаимосвязь между физическими свойствами почвы и ее органическим веществом**

Выявлено, что потенциальные возможности антропогенной активизации эрозионного процесса тесно связаны в эродируемой почве с ее плотностью сложения, общей скважностью, строением порового пространства и твердостью, которые определяют исходным гранулометрическим составом почвообразующего материала и жизнедеятельностью организмов, конечные результаты которой запечатлеваются в общем содержании и составе почвенного органического вещества. Согласно исследованиям, содержание органического вещества в почве, ее гранулометрический состав и влажность признаны как одни из самых важных факторов, влияющих и на естественную, и

на искусственно антропогенную уплотняемость почвы и на способности вообще избежать последней. Органическое вещество, играя большую роль в структурообразовании, напрямую определяет формирование скважности почвы и зависящей от нее плотности. Влажность почвы и зависящая от нее твердость, в свою очередь, также предопределяют структурное состояние почвы после ее обработки (крошение почвенного материала) и, как прямое следствие, активность механизма физической защиты почвенного органического вещества.

## 8. Связи между гидрологическими константами, физическими свойствами почвы и ее органическим веществом

**Гидрологические параметры** чернозема глинисто-иллювиального типичного в целом определяются индивидуальными особенностями каждой толщи, в первую очередь, качественным и количественным соотношением в ней между собой гранулометрических фракций с адсорбированным на них органическим веществом (рис. 3). В приводораздельной и естественной толщах (II группа) отмечаются максимальные значения как мертвого запаса влаги для растений (максимальная гигроскопичность, в целом диапазон недоступной растениям влаги), так и доступного запаса (капиллярная и полная влагоемкости), в наиболее эрозионной толще, развивающейся в средней части склона, – минимальные.

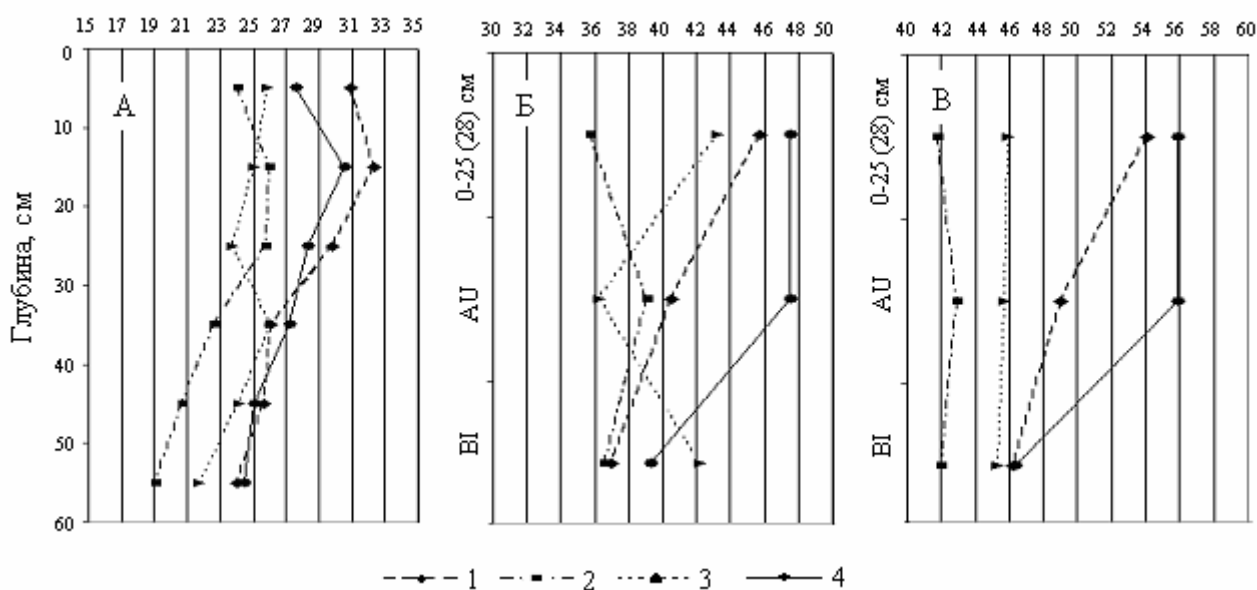


Рис. 3. Профильное распределение наименьшей влагоемкости (по истечении 12 суток) (А) и условное профильное распределение капиллярной (Б) и полной (В) влагоемкостей в гумусовом слое исследуемых черноземов, % к весу, где 1 – толща в верхней части склона; 2 – толща в средней части склона; 3 – толща в нижней части склона; 4 – толща в основании склона.

**Впитываемость почв как показатель их противозэрозионной устойчивости.** Отмечается сильное пространственное варьирование скорости впитывания влаги в почву (Печенкина и др. 2008), что является прямым, наиболее полным отражением всех свойств почв в их совокупности.

Определяемая в естественных условиях, она служить в качестве естественного чувствительного индикатора к большинству значительных изменений в почве: в содержании органического вещества, потере наиболее ценных тонких гранулометрических фракций, структуре, плотности, пористости, естественной дренированности корнями и так далее. При этом значительно уменьшая количество ошибок при оценке противоэрозионной устойчивости почв. По водопроницаемости в целом прослежена динамика перехода почв из естественного в антропогенное развитие (табл. 4).

Таблица 4

Средняя величина скорости впитывания, мм/час

Горизонт, глубина, см	Скорости впитывания, мм/час			
	Пробная площадь			
	1	2	3	4
PU, AU, 7	206,1±4,5	334±2,8	119,1±2,1	170,8±2,7
PU, 17	96,1±3,5	55,0±3,2	62,9±2,1	
AU, 27	51,6±2,7	63,7±1,9	46±1,4	95,9±2,3
BI, 47	16,9±2,2	10,8±9,0	68,5±2,9	119,5±2,8

Потеря глинистой и мелко пылевой фракций с адсорбированным на нем органическим веществом, плохое структурно-агрегатное состояние, выраженное повышенной глыбистостью и наличием огромных поровых пространств параллельно с присутствием большого количества микроагрегатной фракции, предопределяют в склоновых толщах максимальные и минимальные величины впитывания. Значительное снижение показателя впитываемости с глубиной для склоновых толщи (I группа) за счет улучшения структурно-агрегатного состава здесь (снижение провальной водопроницаемости) при ливневых дождях или снеготаянии будет предопределять накопление влаги в наружном слое и последующее ее стекание по склону, обуславливая эрозионный твердый сток.

Вне зависимости от глубины залегания горизонтов в пределах гумусового слоя исследуемых толщ, скорость впитывания (логарифмированные данные) коррелирует с содержанием органического вещества в почве, показывая умеренно сильную связь ( $r = 0,61$ ), с влажностью почвы ( $r = 0,66$ ) и ее плотностью сложения ( $r = 0,76$ ). Отмечается зависимость показателя от глубины.

Все заявленные зависимости подтверждаются в работе уравнениями регрессии, которые несут количественное выражение данных связей и отражают их характер. Также они могут использоваться в ориентировочных расчетах средних величин скорости впитывания как для индивидуальных горизонтов, так и в целом для гумусового слоя подтипа чернозема глинисто-иллювиального типичного.

**Потенциальные возможности исследуемых почв в водообеспечении культурных растений.** Доступность почвенной влаги для растений в поддержании их оптимальной жизнедеятельности является в значительной степени определяющим фактором плодородия любой почвы. Согласно

проведенным исследованиям, каждая толща в пределах изучаемого склона, характеризуется своим набором показателей (свойств), который обеспечивает ей тот или иной потенциал возможности накопления почвенной влаги. Для всех толщ отмечается перераспределение влаги между почвенными горизонтами согласно содержанию в них тонкой механической компоненты и органического вещества.

Запасы влаги четко коррелируют с местоположением горизонта на склоне, где эрозионной толще в средней части склона свойственны наименьшие запасы, аккумулятивной толще внизу склона – наибольшие (в первую очередь высокопродуктивной). Отмеченный высокий показатель запаса влаги для переходного горизонта VI, несмотря на низкое содержание в нем органического вещества, высокую плотность его сложения и меньшую пористость, обуславливается присутствием следующего за ним более плотного и менее оструктуренного горизонта VM, выступающего в роли водоупора. Данное явление предопределяет его роль в распределении почвенной влаги внутри профилей.

Количество недоступной и малопродуктивной влаги наиболее сильно связано с содержанием органического вещества и фракции глины, а высокопродуктивной влаги и в целом общий запас влаги, помимо уже перечисленных показателей, связан также с плотностью сложения почвы, ее пористостью и влажностью. Данное положение в работе подтверждается уравнениями регрессии с  $\alpha = 0,05$ .

## **9. Роль сельскохозяйственных машин и механизмов в деградационных процессах структурно-агрегатного состояния черноземов**

В главе излагаются результаты изучения трансформации водно-физических свойств исследуемых представителей чернозема глинисто-иллювиального типичного под воздействием проходов сельскохозяйственной техники различных типов (*Копосов, Печенкина, 2006, 2007*).

Согласно выше изложенному, в результате двойного прохода ненагруженных движителей по одному следу по почве как с исходной полевой влажностью, так и с влажностью НВ-ПВ наблюдается существенная негативная трансформация основных водно-физических свойств исследованных черноземов. Уплотнение почвы, выражающееся через повышение величин ее плотности сложения и твердости, при одновременном понижении величин скорости впитывания влаги, изначально обуславливается разрушением структурно-агрегатного состава почвы и, в первую очередь, ее макроагрегатов. Потеря физической защиты органическим материалом делает последний доступным процессам его минерализации и дегумификации. Потерянное органическое вещество обуславливает снижение возможности обновления структурно-агрегатного состава и увеличивает податливость почвы эрозионным процессам, что, в свою очередь, изменяет водно-гидрологические константы и, в конечном счете, приводит к существенному сдвигу в водно-воздушном режиме пахотных горизонтов, провоцирующему почвенные засухи.

## 10. Роль органического вещества в формировании устойчивости черноземов к антропогенным дестабилизирующим воздействиям

Основной задачей почвенного органического вещества является поддержание устойчивости функционирования естественных и аграрных экосистем через осуществление множества связей и выполнение разнообразных функций. Прямым следствием экологической роли почвенного органического вещества является участие в формировании растительной и животной биомассы. Косвенно, но на базе тесных и устойчивых связей, экологическая роль органического вещества проявляется через влияние на другие показатели почвенного плодородия (физические, физико-химические, водно-физические и т.д.). Характер, направленность и оценка этого влияния на некоторые показатели количественно представляются в диссертационной работе. Однако всегда уточнялось, что это влияние часто носит опосредованный характер. Таким образом, абиотическая составляющая почвы описывает нишу биотической составляющей, что может быть также подтверждено и количественно выражено с помощью следующих регрессионных уравнений.

Для гумусового слоя исследуемых черноземов, незатронутого человеческой деятельностью:

$$C_{10\text{см}} = 0,01 \Phi_{\text{глина}} + 0,7 A_{0,25-10} + 152,9 V + 297,9 \quad R = 90,1 \pm 5,8 \quad \alpha = 0,01 \quad (3)$$

Для пахотного слоя агрочерноземов:

$$C_{10\text{см}} = 1,0 \Phi_{\text{глина}} + 0,1 A_{0,25-10} - 7,6 V + 26,0 \quad R = 98,4 \pm 1,2 \quad \alpha = 0,05 \quad (4)$$

где  $C_{10\text{см}}$ ,  $\Phi_{\text{глина}}$ ,  $A_{0,25-10}$  см. уравнение (1), (2);  $V$  – плотность сложения почвы, г/см<sup>3</sup>;  $R$  – доля изменчивости показателя запаса органического вещества в почве, обусловленная содержанием в ней фракции глины, агрономически ценных агрегатов и ее плотности сложения, %.

Согласно исследованиям, черноземы глинисто-иллювиальные типичные обладают потенциальными возможностями накопления органического вещества и любое направление практического использования почв, которое увеличивает органический вход, будет иметь тенденцию увеличивать уже достигнутый уровень к потенциальному уровню запаса. Немаловажным условием является сохранение экологически соответствующего для данной территории отношения C/N для поддержания биологической деятельности основных микроорганизмов-минерализаторов органического вещества. Следующий обязательный компонент сохранения органического вещества это режимы почвы, обеспечивающиеся ее физическими и водно-физическими свойствами, которые определяются климатом и только лишь в определенных пределах могут регулироваться человеком. Роль климата проявляется непосредственно и косвенно. Прямо – через температурный и влажностный режимы, косвенно – через деятельность растительности и почвенной фауны. С ним связана продолжительность периода биологической активности почвы, который прямо учитывает время, в течение которого гумифицируются растительный остаток, а в скрытой форме отражает количество поступающих в почву растительных остатков и уровень интенсивности биохимических процессов. Под влиянием сельскохозяйственных нагрузок лимитирующими

факторами для периода биологической активности почвы становятся ее физические свойства и проективное покрытие агроценозов, которые непосредственно влияют на плодородие почвы, в первую очередь на динамику ее органического вещества.

Изучение почвенного органического вещества исследуемых черноземов обрисовывает несколько узловых факторов, которые устанавливают фактический уровень его содержания, т.е., по существу, сдерживают проявление потенциальных возможностей почвы. Главный фактор - это потеря почвенного материала с твердым стоком в результате эрозионного процесса, который приводит к утрате тонких частиц, а вместе с ними и органического вещества из их оригинальных местоположений. Следующий фактор - это повышенные скорости минерализации органического вещества (из-за малой химической и физической защиты), что особенно проявляется на пашне и что еще больше проявиться после удаления растительного покрытия. В-третьих, удаление части органических остатков резко уменьшает общий углеродистый вклад. В-четвертых, это нарушение почвенных биотических процессов, ответственных за разложение поступающего органического материала и за качество образующегося органического вещества, способного к полноценному образованию устойчивых органо-минеральных комплексов. В-пятых, вспашка и другое глубокое культивирование, повышая рыхлость слоя, увеличивает его аэрацию, что усиливает процесс минерализации. В-шестых, определенное как врожденный признак, выщелачивание гонит органическое вещество вглубь толщи, обедняя ее верхние слои.

К сожалению, все современные агрочерноземы подвержены мощному негативному антропогенному прессингу, уменьшение степени которого в обозримом будущем не прогнозируется. В сложившейся ситуации чрезвычайно важным, в первую очередь, является правильная организация действенной системы мониторинга состояния всех черноземов Республики Татарстан, их изменений и определения направлений этих изменений. Также необходим практический подход к решению назревшей проблемы – использование агрочерноземов согласно новым идеологиям, обеспечивающим не только искоренение причин активации эрозионных процессов и поддержание существующего уровня плодородия, но и его повышение. В первую очередь необходимо решить проблему структурно-агрегатного состояния почвы, улучшение которого напрямую связано с повышением содержания органического вещества в почве и сокращением или полным отказом от основной вспашки, которая, разрушая агрегаты, увеличивает потери почвенного органического материала.

Помимо важного сельскохозяйственного значения, черноземы играют важную роль в глобальном углеродистом цикле, где их вклад в глобальный углеродистый запас не складывается только из содержания органического углерода в гумусовом слое. Согласно Глазовской М.А. (1996), исследуемые черноземы глинисто-иллювиальные типичные характеризуются запасом органического углерода в толще 0-0,5 м – 198,5 т/га (50% всего почвенного

органического углерода в толще), 0-1,0 м – 317,6 т/га (80%), 0-2,0 м – 357,3 т/га (90%) и глубже 2 м – 39,7 т/га (10%).

### Выводы

1. Установлена негативная трансформация гумусного и физического состояний черноземов, находящихся в интенсивном сельскохозяйственном использовании, при этом трансформация структурно-агрегатного состояния агрочерноземов является первопричиной активизации процессов эрозионного их разрушения.

2. Исследованные черноземы и агрочерноземы принадлежат к виду среднемощных (AU+BI составляет около 60 см), к тучным и сильно гумусированным средне- и сильно выщелоченным. Выщелоченность и гумусированность агрочерноземов тесно сопряжена с их положением в профиле склона, определяющим потенциальные возможности развития эрозии. По абсолютным запасам гумусового вещества среди агрочерноземов только чернозем, приуроченный к приводораздельной части склона, характеризуется максимальными величинами, приближающимися к таковым в естественном черноземе. Снижение абсолютных запасов в черноземах, приуроченных к склону, объясняется изменением условий течения процессов гумификации и минерализации, эрозионным преобразованием склона.

3. По результатам гранулометрического анализа поле обработки почвенного материала пергидролем вне зависимости от приуроченности толщи к профилю склона доминирующая доля принадлежит глине. Фракционирование методом Н.А. Качинского и А. Аттерберга с подготовительным этапом отделением свободного и непрочно связанного органического вещества по плотности и ультразвуком свидетельствует о доминировании пыли крупной и средней. Относительное повышение содержания песка в толщах в средней и нижней частях склона обусловлено естественной слоистостью, потерей тонкой фракции из-за процессов склоновой эрозии и в результате внутри профильного перемещения тонкого материала. Наибольшее содержание свободной и непрочно связанной фракции органического вещества наблюдается в естественной толще и толще на приводоразделе, наименьшее – внизу склона.

4. Локализация органического вещества в минеральной основе исследовавшихся черноземов непосредственно связана с размерным составом слагающих ее элементных частиц. Однако способность размерных фракций одноименных элементарных почвенных частиц в одноименных почвенных горизонтах характеризуется существенными различиями, что свидетельствует о качественных и темповых различиях в процессах формирования органо-минеральных комплексов. Более минерализованное органическое вещество связано с песчаными, крупно- и среднепылеватыми элементными частицами. Из полного органического вещества, сохраненного в слое 0-10 см пахотного горизонта агрочерноземов, непрочно связанные фракции органического материала вносят приблизительно от 78 до 85% органического азота и от 85 до

87% органического углерода, тогда как минеральная фракция только 19-21% азота и 13-16% углерода.

5. Структурное состояние исследуемых почв определяется установленными различиями гранулометрического состава. Максимальное количество агрономически ценных структурных отдельностей характеризует приводораздельную, отдельностей  $<0,25$  мм и  $>10$  см – склоновые толщи, что предопределяет причины их общей низкой водопрочности. Общее содержание водопрочных агрегатов  $>0,25$  мм в верхней толще естественно развивающегося чернозема превышает таковое по отношению к пахотным в 1,8-2,9 раза.

Органические и органо-минеральные почвенные фракции в структурных отдельностях  $<2$  мм в большинстве случаев более обогащены органическим углеродом и азотом. Также, для верхней 20-ти сантиметровой толщи всех исследуемых почв отмечается очень высокая корреляция между содержанием агрономически ценных агрегатов, агрегатной стабильностью почвы и ее органическим материалом. Выявленные зависимости подтверждаются построенными уравнениями регрессии с достоверностью 95-99%.

6. Существенные различия в величинах плотности гумусового горизонта исследуемых агрочерноземов отмечаются только в его распаханной толще, нижняя граница которой характеризуется наличием «подплужной подошвы». Величины порозности и твердости характеризуются как неудовлетворительные.

7. Абсолютные значения количественных показателей гидрологических параметров существенно различны по толщам. Наибольшие значения характерны верхней толще естественно развивающегося представителя. Среди агрочерноземов наилучшие характеристики свойственны приводораздельному представителю, существенно худшие – представителям, приуроченным к склону. Примерно от 85 до 94% порового пространства способно успешно удерживать влагу, блокируя действие гравитации. Однако в подпахотной толще этот диапазон сужается до 79-90%, что обусловлено изменением здесь агрегатного состава вследствие формирования подплужного уплотнения. Величины скорости впитывания показывают значительное пространственное варьирование. Вычисленные зависимости запасов влаги и скорости впитывания влаги в почву от содержания в последней органического вещества, фракции глины и содержания агрономически ценных агрегатов выражены уравнениями регрессии с уровнем значимости 0,01-0,05. Эти уравнения могут использоваться в ориентировочных расчетах средних величин соответствующих показателей как в индивидуальных горизонтах, так и в целом для гумусового слоя чернозема глинисто-иллювиального типичного среднесуглинистого.

### **Список основных работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Печенкина Н.В., Закиров А.Г., Копосов Г.Ф. Анализ распределения величин скорости впитывания влаги в почвы тяжелого гранулометрического состава // Почвоведение. 2008. №6. С. 710-716;



2. Печенкина Н.В. Современное состояние плодородия черноземов выщелоченных Республики Татарстан // Приложение к журналу «Плодородие». 2007. №2. (35). С. 16-18;
3. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В., Мифтахов Р.В. Уплотнение почв как проблема интенсификации земледелия России // Земледелие. 2007. №5. С. 16-18;
4. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В., Балахчев Г.Н. Трансформация некоторых физических свойств черноземов под влиянием аграрной культуры // Ученые записки Казан. ун-та. Сер. Естественные науки. 2006. Т. 148, кн. 3. С. 99-109;
5. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В., Мифтахов Р.В. Повышение эффективности использования энергонасыщенных тракторов // НИВА Татарстана. 2008. №4. С. 14-18;
6. Печенкина Н.В. О скорости впитывания и глубине почвенного горизонта // Почвы и техногенез // Тезисы докладов Юбилейной Всероссийской конференции X Докучаевские молодежные чтения. – Санкт-Петербург, 2007 – 198 с.;
7. Печенкина Н.В. Изменение основных водно-физических характеристик чернозема Республики Татарстан под влиянием антропогенного воздействия // Материалы международной научной конференции «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и практические аспекты». – Санкт-Петербург, 2007. С. 486-488;
8. Печенкина Н.В. Рельеф, эрозия и плодородие почв // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: Материалы международной научно-практической конференции. Вып. IX. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. Кн.1. 456с. С. 271-274;
9. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В., Сахабиев И.А. Изменение физического состояния черноземов после воздействия ходовой системы тракторов // Агроэкологическая безопасность в условиях техногенеза // Сборник научных докладов международного симпозиума «Агроэкологическая безопасность в условиях техногенеза»: часть II. – Казань: Меддок, 2007. – 548 с. С. 224-228;
10. Фазылов Р.Ф., Печенкина Н.В. Гранулометрический состав чернозема выщелоченного // Итоговая научно-образовательная конференция студентов Казанского государственного университета 2007 года. Казань, 2007. – 124с. С. 14;
11. Печенкина Н.В., Копосов Г.Ф. Водные свойства чернозема выщелоченного Республики Татарстан // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем. Иркутск. 2006. – 573с. С. 263-270;
12. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В. О представлении результатов определения водопроницаемости тяжелых почв // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию кафедры почвоведения имени Л.Н. Александровой – Санкт-Петербург: Санкт-ПетербургГАУ, 2006. – 114с. С. 79;

13. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В., Балахчев Г.Н. Трансформация физического состояния черноземов под воздействием ходовой системы тракторов // Современные проблемы почвоведения и экологии: Сб. статей. 2 Ч. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 316с. С. 292-297;

14. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В. Применение методов статистического анализа при интерпретации результатов исследования водно-физических свойств почв // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 2 / Под общ. ред. Ю.А. Можайского. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2006. – 580 с. С. 111-116.